

京都大学	博士 (工学)	氏名	森川 健太郎
論文題目	哲学的考察に基づく生物の形態形成の数理的理解		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、生物の形態形成の理解を目指し、形態形成の理解の在り方を考察することから始め、「理解に至るための方法論」を提案し、その方法論を具体的な形態形成現象の理解に実践し、その理解を数理的に表現した研究成果をまとめたものであって、5章からなっている。</p> <p>第1章は緒論であり、研究背景、および、本論文の目的を述べている。まず、生物の形態形成を理解するとはどういうことであるかは、それ自体が非自明な問いであることを指摘し、理解の仕方の観点から生物学史を概観している。そこでは、現象を成り立たせている構成要素の機械論的な振る舞いに還元した理解を目指す「部分に焦点を当てた方法」と、現象の全体を抽象的に捉えることを目指す「全体に焦点を当てた方法」を概説し、どちらか一方だけでは満足な理解を得ることができなかった歴史を述べている。さらに、現代では、計算機を活用して、部分から全体を再構成することが行われているが、このアプローチだけでは、部分と全体の働きを同時に直観できるような満足な理解には至らないことを指摘している。この問題意識から、「理解に至るための方法論」の必要性を述べ、最後に、本論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第2章では、部分と全体のどちらか一方だけではなく、部分が部分として独立的でありながら、それらが同時に全体として一つとして捉えられる把握の仕方を、哲学的概念を参考に考察している。ここでは、西田哲学の概念を用いて、「理解すること」を「行為的直観的な把握」と捉えることを提案している。それは、現象の各部分の働きを“把握し行く”という時間的な行為に留まらず、その全体を同時的空間的に直観し、時間的行為と空間的直観の矛盾的自己同一として対象を認識することである。さらに、自然言語的な表現では捉え難い哲学的概念に対して、それを表現する数理モデルを構築し、行為的直観的な把握としての理解の数理的な捉え方を提案している。ここでは、現象を表す要素の集合の時間的な状態遷移過程に対して、そのダイナミクスの全体を生み出すブーリアンネットワーク構造を生成するというモデルにより、部分の働きの全体を同時的に直観することが表現されている。そして、このように捉えられた行為的直観的な把握としての理解の概念に基づき、生物の形態形成の理解に至るための方法論として、部分の働きを捉える行為と形態形成の全体とを同時的空間的に直観する行為的直観が得られるような枠組みを導出することを提案している。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	森川 健太郎
<p>第3章では、細胞増殖によるシート状組織の成長で形成される皺構造の形態形成を対象として、第2章で提案した「理解に至るための方法論」の実践が行われている。特に、組織の周囲に存在する構造から受ける物理的な拘束力の非対称性が形態形成に与える影響の理解を目的としている。まず、部分の働きである細胞増殖および非対称な周囲環境からの物理的拘束力が、どのように全体としての皺構造形成をなすのかを、力学モデルに基づく計算機シミュレーションにより検討している。これにより、周囲環境の非対称性に応じて、斑点状・迷路状・網目状のそれぞれの皺構造が形成されることが示唆された。さらに、この形態形成における部分と全体を、計算機上で結びつけるだけではなく、行為的直観的に把握できる枠組みを導くために、系全体の力学的エネルギー汎関数を定義し、組織の変位の時間発展を表す Swift-Hohenberg 型モデルを導出している。力学系理論に基づきこれを考察することにより、本モデルの枠組みは、周囲環境の非対称性に応じて、どのような皺パターンが選択されるのかを、形態形成の時間発展の計算をせずとも、直接的に解析し得るものであることを述べている。この直接性は、部分の働きと全体としての皺構造形成との同時的な直観を可能にするものであり、これにより、本枠組みが行為的直観的把握を可能にする枠組みであることが示された。</p> <p>第4章では、形成初期には平坦に近い単純な形状のシート状組織が、成長して立体的な曲面形態を形成する現象を対象として、第2章で提案した方法論の実践が行われている。ここでは、特に、組織の成長率の空間的な偏りが曲面形態形成に与える影響の理解を目的としている。まず、部分の働きである空間的に偏った偏差成長が、どのように全体としての曲面形態形成をなすのかを、力学モデルに基づく計算機シミュレーションにより検討している。これにより、点状に集中した面積拡大では突起形状、円状に集中した拡大では波打った形状が形成されることが示唆された。さらに、この形態形成における部分と全体を、計算機上で結びつけるだけではなく、行為的直観的に把握できる枠組みを導くために、偏差成長と曲面形態の関係を幾何学の観点から考察している。ここでは、面積拡大率分布によって特徴づけられる成長においては、成長前形状と成長後形状とが等角写像で結び付けられることを見出し、偏差成長と曲面形態の関係を、形態形成の時間発展の計算をせずとも、直接的に解析できる手法が提案された。これにより、部分の働きと全体としての曲面形態形成との同時的な直観を可能にする、行為的直観的把握の枠組みが得られた。さらに、この解析手法をカプトムシの角原基形成過程に適用することを通じて、実際の発生系の理解に有用であることが示された。</p> <p>第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。本論文は、生物の形態形成を理解するための方法が発展してきた生物学史の流れに対し、その流れの行く先としての理解の在り方を考察することで、「理解に至るための方法論」として「行為的直観的な把握ができる枠組みの導出」を提案した。これは、測定技術や計算機の発展により、情報の取得・生成の面では非常に多くが得られるようになった現代において、満足な理解に至るためにそれらをどのように使えば良いのかを考える指針として意義を有すると述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、生物の形態形成の理解を目指し、形態形成の理解の在り方を考察することから始め、「理解に至るための方法論」を提案し、その方法論を具体的な形態形成現象の理解に実践し、その理解を数理的に表現した研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 本論文では、西田哲学を参考に、「理解する」とは行為的直観的な把握であるという捉え方を提案した。さらに、自然言語的な表現では捉え難い哲学的概念に対して、それを表現する数理モデルを構築し、理解することの数理的な捉え方を提案した。そして、生物の形態形成の理解に至るための方法論として、部分の働きを捉える行為と形態形成の全体とを同時的空間的に直観する行為的直観が得られるような枠組みを導出することを提案した。
2. 細胞増殖による組織の成長に伴い形成される皺構造が、周囲構造から受ける物理的な拘束の非対称性にどのように影響されるかを明らかにした。力学系理論に基づく考察から、**Swift-Hohenberg** 型モデルを導出することで、部分の働きである非対称な拘束下での細胞増殖と皺構造形成の全体とを直接結びつける行為的直観的把握の枠組みが得られることを示した。
3. 組織の成長率の空間的な偏りが、成長後の組織形態にどのように影響するかを明らかにした。幾何学に基づく考察から、成長率の分布と幾何学的形態が等角写像で結ばれることを見出し、この関係を数理的に表現する手法を開発した。これにより、部分の働きである空間的に偏った成長と曲面形態形成の全体とを直接結びつける行為的直観的把握の枠組みが得られることを示した。さらに、本枠組みをカプトムシの角原基形成過程の解析に適用することを通じて、実際の発生系の理解に有用であることを示した。

以上のように、本論文は、哲学的考察に基づいて「理解に至るための方法論」を提案し、それを実践することで、生物の形態形成に関する一つの数理的な理解を提供するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年2月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。